

**LES ALTÉRATIONS ASSOCIÉES A LA MINÉRALISATION
AURIFÈRE D'ANGOVIA (MASSIF DU YAOURE,
CENTRE DE LA CÔTE D'IVOIRE)**

**Yacouba COULIBALY^{1*}, Alain Nicaise KOUAMELAN¹,
Chérubin Sagbrou DJRO¹, Koffi Blé K. POTHIN¹ et
Moro Olivier BOFFOUE²**

¹*Laboratoire de géologie du socle et de métallogénie, UFR-Sciences de la Terre et des Ressources Minières, Université de Cocody,
22 BP 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire*

²*Laboratoire de pédologie et géologie appliquée, UFR- UFR-Sciences de la Terre et des Ressources Minières, Université de Cocody,
22 BP 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire*

(Reçu le 26 Mars 2007, accepté le 14 Janvier 2008)

* Correspondance et tirés à part, e-mail : yacoulib@hotmail.com

RÉSUMÉ

La minéralisation aurifère d'Angovia (Bouaflé, Côte d'Ivoire) est liée à une intense altération hydrothermale à quartz, chlorite, carbonates, sulfures, ± tourmaline. Les chlorites ont des compositions de ripidolite et de brunsvigite et indiquent des températures de cristallisation comprises entre 300 et 415°C.

L'hydrothermalisme a provoqué une altération de la paragenèse primaire de l'encaissant métadoléritique : dolomitisation, phengitisation, albitisation et chloritisation. D'autre part, dans sa partie superficielle, le gisement est soumis à une intense altération supergène qui provoque une forte argilisation, une corrosion des sulfures, la précipitation de psilmélane et de phosphates de terres rares. La fraction argileuse est constituée de smectite (phase prédominante), de kaolinite et parfois des micas, avec plus ou moins des interstratifiés illite/smectite.

Mots-clés : *Altération, chlorite, smectite, kaolinite, carbonate, mica, Birimien, Yaouré*

ABSTRACT**Alterations related to the Angovia gold mineralization (Yaouré mountain, Central part of Ivory Coast)**

The gold mineralisation of Angovia (Bouaflé, Ivory Coast) is tied to an intense hydrothermal alteration dominated by quartz, chlorite, carbonates, sulfide \pm tourmaline. The chlorites have compositions of ripidolite and brunsvigite and indicate temperatures of crystallization ranging between 300 and 415°C.

The hydrothermal alteration causes alteration of the primary paragenesis of the bedrock (metadolerite) : dolomitization, phengitization, albitization and chloritization. In addition, the deposit is subjected in its superficial part by an intense weathering which causes great argilization, corrosion of sulfides, precipitation of psilomelane and rare earth elements phosphate. The argillaceous fractions are made of smectite (prevalent phase), kaolinite and sometimes of micas \pm mixed layer clays (illite/smectite type).

Keywords : *Weathering chlorite, smectite kaolinite, carbonate, mica, Birimian, Yaouré*

I - INTRODUCTION

Les terrains du Paléoprotérozoïque (Birimien) de l'Afrique de l'Ouest sont bien connus pour renfermer de nombreuses minéralisations aurifères [1]. La minéralisation aurifère du Yaouré-Angovia dont la "zone oxydée" a été exploitée par la Compagnie Minière d'Afrique (CMA) entre 1998 et 2003, se situe au centre de la Côte d'Ivoire, 30 km à l'ouest de la ville de Yamoussoukro. Les réserves étaient de l'ordre de 5 à 20 tonnes d'or pour une teneur moyenne de 4 à 5 g/t [2]. Il s'agit d'une minéralisation à sulfures disséminés, encaissée dans des roches volcaniques [1].

Les circulations hydrothermales auxquelles est associée cette minéralisation, ont produit un certain nombre d'altérations dans les roches encaissantes. De plus, le gisement est affecté dans sa partie superficielle, par une importante altération supergène. Le minerai exploité est formé par une caisse filonienne fortement argilisée et oxydée. Une caractérisation de ces altérations, participe à une meilleure connaissance de ce type de minéralisation. Tel est l'objet de ce travail.

II – CADRE GEOLOGIQUE

II-1. Le Birimien

La mine d'Angovia (**Figure 1**), [3] se situe dans le domaine paléoprotérozoïque (Birimien) du bouclier ouest-africain, plus précisément de la dorsale de Man.

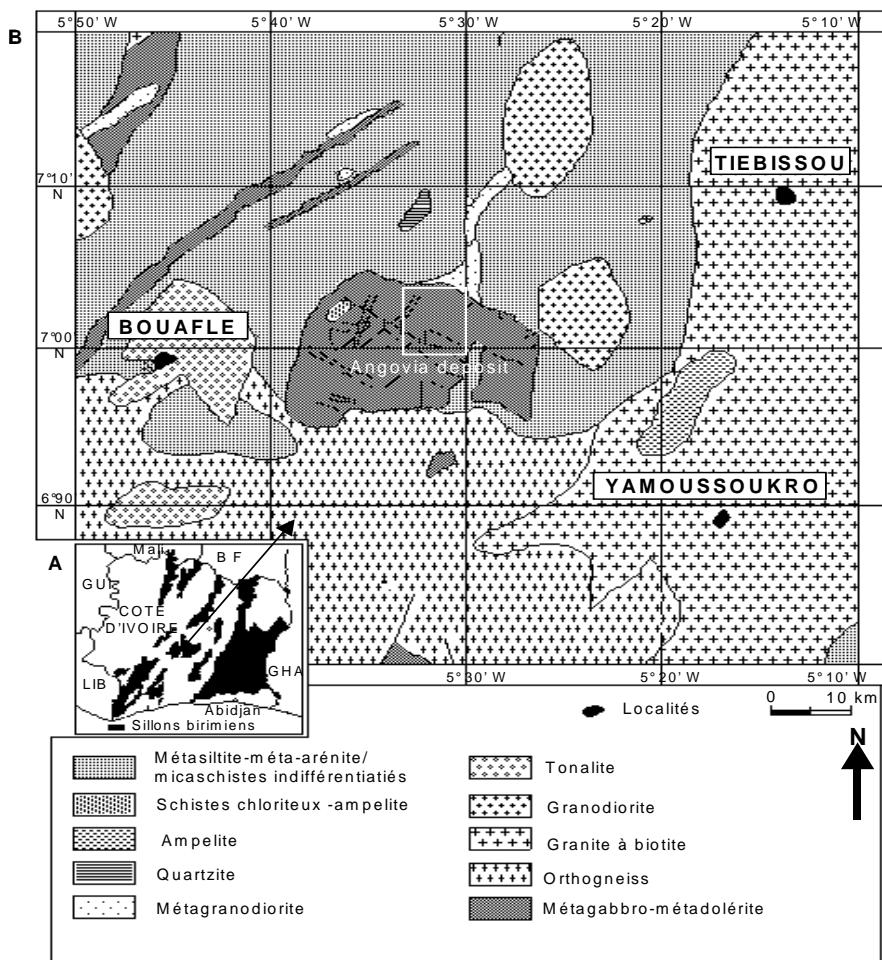


Figure 1 : A : Localisation des Monts Yaouré en Côte d'Ivoire avec indication des sillons birimiens

B : Carte géologique du Yaouré-Angovia (modifiée d'après Girard et Tia [3]).

GUI : Guinée; LIB : Libéria; GHA : Ghana; BF : Burkina Faso. Le rectangle indique la localisation du gisement d'Angovia

La stratigraphie du Birimien a été longtemps sujette à une controverse. Les géologues anglophones (au Ghana) considéraient un Birimien inférieur à prédominance sédimentaire et un Birimien supérieur essentiellement volcanique [4,5]. D'autres auteurs, à partir d'études réalisées en Côte d'Ivoire, ont toutefois soutenus le contraire [6].

Cependant, les travaux de *Milési et al.* [1], convergent vers la conception ghanéenne en considérant un Birimien inférieur (B_1) essentiellement volcanosédimentaire et sédimentaire, affecté par une déformation D_1 correspondant à une tectonique tangentielle ; et un Birimien supérieur essentiellement volcanique, affecté par deux déformations transcurrentes D_2 et D_3 . La conception la plus récente, basée sur des âges isotopiques et les dispositions lithostructurales des formations, admet que ces deux ensembles sont sub-synchrones [7-10].

Une étude géochimique basée sur les isotopes du Nd et du Sr, couplée à des datations radiométriques [11,12] a permis de montrer que l'ensemble du domaine birimien correspond à une croûte juvénile mise en place entre 2,2 et 2,1 Ga, sans contamination apparente des formations archéennes. Des datations récentes [13] donnent un âge encore plus ancien, jusqu'à 2,3 Ga. Contrairement aux géologues qui évoquent une tectonique tangentielle pour la mise en places des formations birimiennes [14-16], une tectonique archaïque est également de plus en plus admise, étant donné la prédominance des structures verticales et la similitude des associations lithologiques birimiennes et archéennes (un socle granito-gneissique, des ceintures de roches vertes et des granites tardifs) [17-20].

II-2. Cas du centre de la Côte d'Ivoire

Selon *Fabre et al.* et *Fabre et Morel* [21,22], sur un socle gneissique "éobirimien" polydéformé, daté à 2186 Ma avec un héritage à 2300 Ma [13] et équivalent aux formations « dabakaliennes » [23] du complexe de Fétêkro (NE de la Côte d'Ivoire), s'est déposé un ensemble essentiellement sédimentaire, polydéformé (D_1), considéré comme le birimien inférieur B_1 . Au-dessus, un ensemble à dominante volcanique débutant par une série basaltique tholéitique (Yaouré) et se poursuivant par une série calco-alcaline constitue le birimien supérieur B_2 . Celui-ci ne présente qu'une déformation (D_2). Un conglomérat polygénique de base, assimilable aux formations tarkwaiennes du Ghana, termine la série.

Dans le Yaouré, l'ensemble des formations volcaniques et détritiques (B_2) des Monts du Yaouré occupe une position géométrique synclinale supérieure.

Il est affecté par une phase de structuration majeure (D_2). La série sédimentaire B_1 sous-jacente, antérieure à cette structuration, est affectée par une première schistosité S_1 , sub-parallèle à la stratification S_0 , orientée N 050 à 070° et associée à des plis isoclinaux P_1 . L'ensemble B_2 n'a, lui, enregistré que la phase de structuration D_2 , marquée par le développement d'une schistosité S_2 , orientée N 010 à 020° et sub-verticale. S_2 est liée en bordure du bassin du Yaouré au fonctionnement de zones de cisaillements senestres sub-méridiennes. D_2 précède la mise en place d'importants massifs de granodiorites souvent orientés à hornblende et biotite, intrusifs dans B_1 et B_2 . Une phase de déformation tardive D_3 est liée au fonctionnement conjugué d'accidents N 050-070° dextres et N 115-130° senestres, traduisant une compression orientée E-W.

Enfin, au cénozoïque s'est développé un profil latéritique classique (cuirasse des plateaux). Plus récemment, ce profil a été rajeuni et partiellement tronqué avec réduction de l'épaisseur de la saprolite; un nouveau glacis cuirassé (cuirasse inférieure) s'est développé en contrebas de la surface précédente. Les minéralisations d'Angovia se situent entre ces deux surfaces ou se prolongent sous la cuirasse inférieure (partie nord). L'or est redistribué dans les cuirasses latéritiques et enrichi à leur base c'est à dire dans la saprolite grossière.

II-3. La minéralisation

En ce qui concerne les roches encaissantes et les structures hôtes, l'analyse lithostructurale de la série encaissante [1,24,25] a donné le schéma d'évolution suivant : (i) épanchement d'une pile volcanique basique tholéïtique sous aquatique dont la mise en place est accompagnée par un hydrothermalisme associé (pyrite, pyrrhotite, chlorite, epidote, tourmaline et carbonates disséminés ou sous forme de veinules); (ii) des volcanites basiques sont ensuite recoupées par un complexe intrusif polyphasé de dykes et sills sub-volcaniques, de chimisme intermédiaire à acide ; (iii) postérieurement à la phase D_2 , se mettent en place des stocks dioritiques tardifs.

La paragenèse métallifère est principalement représentée par la pyrite (abondante) et la chalcopyrite (fréquente). La présence de rares cristaux de pyrrhotite, pentlandite, et magnétite ainsi que des traces de sphalerite, cubanite, bravoïte, linéïte, molybdénite, tellurures de Bi, Ni, Hg (tétradymite, mélénite, coloradoïte), et de cassitérite a été signalée [1].

L'or se présente sous des habitus divers [1], en plages variant de 1 à 150 µm. Il peut être inclus dans les minéraux de la gangue (micas blancs, et parfois quartz ou carbonates). On le rencontre également en fines inclusions dans la pyrite (1 à 50 µm), exceptionnellement dans la chalcopyrite ou encore en bordure des cristaux de pyrite. Enfin certaines plages d'or apparaissent dans des veinules de quartz gris, en association fréquente avec de la chalcopyrite.

III - METHODOLOGIE

Les altérations associées à la minéralisation aurifère d'Angovia ont été étudiées à partir de prélèvements faits dans les secteurs centre et sud de la mine (**Figure 2**). Des argiles ont été prélevées dans les caisses filonniennes (hydrothermales) ou dans leurs épontes argilisées. L'échantillonnage a été réalisé dans la partie "oxydée" de la minéralisation. Des lames minces et épaisses polies ont également été réalisées dans des remplissages fissuraux et leur encaissant métadoléritique ainsi que dans le dyke acide recoupant cet encaissant.

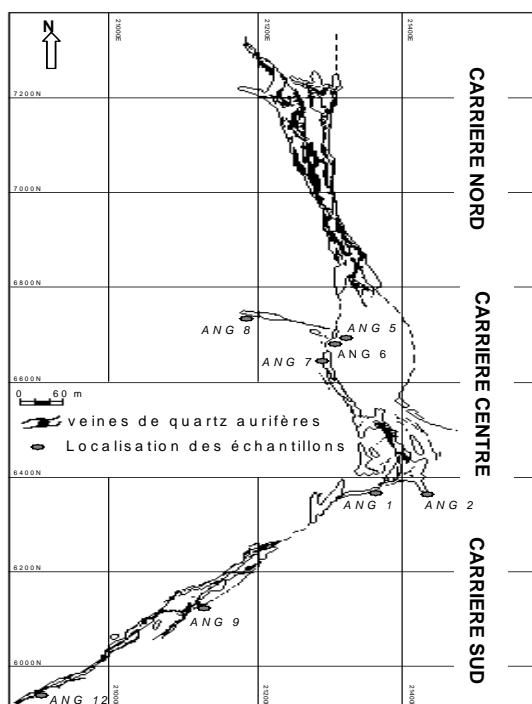


Figure 2 : Carte du gisement d'Angovia montrant l'organisation des veines de quartz (modifiée d'après rapport CMA [27]).
Les échantillons prélevés pour l'étude y sont positionnés.

Une étude pétrographique et physique des phases d'altération a été faite grâce à l'utilisation de la loupe binoculaire, du microscope optique, du microscope électronique à balayage et de la diffraction des rayons X (DRX). La DRX a été réalisée au Laboratoire Environnement et Minéralurgie à Nancy. Des analyses ponctuelles de la composition chimique des phases minérales (carbonates, phases phylliteuses...) ont été faites à la microsonde électronique Camebax SX50 du Service Commun d'Analyse de l'Université Henri Poincaré Nancy I généralement sur des lames minces polies mais aussi sur des lames épaisses polies. L'analyse a lieu après métallisation au carbone. Les conditions d'analyse sont : une accélération de 15 KeV, un faisceau de courant de 6 nA pour les carbonates et 10 nA pour les minéraux phylliteux.

IV – RESULTATS ET DISCUSSION

IV-1. Pétrographie

IV-1-1. *La roche encaissante*

La roche encaissant la minéralisation d'Angovia est principalement composée de métadolérites qui, dans la géologie du Birimien, sont classés dans les "roches vertes" [26]. Ces roches, sont massives, à grains très fins. La paragenèse primaire est à plagioclase (oligoclase), amphiboles, biotite, sphène, xénotime.... Des sulfures tels que la pyrite et la chalcopyrite, en quantité plus ou moins importante, sont par endroits disséminés dans ces roches. Ces roches sont par ailleurs recoupées par des dykes acides de direction moyenne N 120°.

IV-1-2. *L'altération hydrothermale*

La minéralisation aurifère d'Angovia est liée à une intense altération hydrothermale marquée par d'importants remplissages fissuraux. En effet, la minéralisation est localisée dans un couloir brèchique et mylonitique (caisse filonienne) au sein des roches vertes du Birimien. Ce couloir dont la puissance varie de 2 à 70 m est reconnu sur 1700 m de longueur [27]. Il est de forme courbe : N-S au Nord et au Centre puis NNE-SSW au Sud (**Figure 2**). Un hydrothermalisme à quartz - chlorite - carbonates - sulfures plus ou moins tourmaline affecte les roches dans ce couloir. Le quartz qui est la principale phase hydrothermale, pouvant atteindre 2 m de puissance, contient des inclusions de sulfures ± d'apatite.

A certains endroits, ce quartz est recoupé par des filonnets de calcite et de tourmaline ; à d'autres endroits, il est teinté en rouge par des oxy-hydroxydes

de fer ayant diffusé le long de microfissures. Hors de la caisse filonienne, l'altération hydrothermale se manifeste également dans les roches encaissantes (métadolérite et dyke acide) par la présence de fissures de taille millimétrique à centimétrique remplies de quartz, chlorite, calcite et de tourmaline.

IV-1-3. L'altération pervasive

Les métadolérites montrent des altérations pervasives liées à des percolations de fluides hydrothermaux de relative haute température. Les métadolérites, qui ont un caractère basique marqué, ont une composition minéralogique dominée par des minéraux primaires particulièrement sensibles aux altérations (amphibole, plagioclase, biotite, sphène). Au cours de l'évolution P-T-X (pression - température - composition chimique), chaque microsite d'altération est caractérisée par un comportement propre qui est lié à son stock chimique initial. Les plagioclases sont remplacés principalement par des carbonates (dolomite \pm calcite) et par endroits par de l'albite et des micas blancs. Biotite et amphibole sont altérées en chlorite qui contient des inclusions ferrugineuses et de rutile accompagnée par de rares épidotes ferrifères.

IV-1-4. L'altération supergène

Dans sa partie superficielle, le gisement est soumis à une intense altération météorique car nous sommes sous un climat tropical humide. Les sulfures (pyrite et chalcopyrite principalement) sont fortement corrodés (**Figure 3A**), entraînant la précipitation d'abondants oxy-hydroxydes de fer (**Figure 3B**). Des cristaux de barytine (**Figure 3C**) observés sont, sans doute, à rattacher à cette corrosion.

L'argilisation est très développée dans la partie superficielle du gisement d'Angovia. Dans la caisse filonienne, par exemple, la roche encaissante mylonitisée est en général complètement argilisée donnant des argiles de couleur blanchâtre à ocre. Pour déterminer la minéralogie de ces argiles, 6 échantillons ont été soumis à l'observation au microscope électronique à balayage (**Figure 3E et F**) ainsi qu'à l'analyse diffractométrique qui a porté aussi bien sur des essais naturels que glycolés.

L'analyse DRX a montré qu'indépendamment du lieu de prélèvement, les fractions argileuses ($<2\mu\text{m}$) sont principalement constituées de smectite (argile gonflante), de kaolinite avec parfois du micas (illite) et des traces d'interstratifiés illite/smectite (**Figure 4**). L'estimation de l'abondance relative [28] de ces minéraux indique une prédominance de la smectite dans la plupart des échantillons (jusqu'à $95\pm5\%$) (**Tableau 1**). La kaolinite est

toujours présente avec des teneurs toutefois inférieures ou égales à 30 %. L'illite est généralement présente à l'état de trace sauf dans l'échantillon ANG 9 (localisé dans la zone sud du gisement) où il atteint $40 \pm 5\%$ de la fraction argileuse. Les diffractogrammes effectués sur des fractions brutes de ces argiles, ont montré l'omniprésence de quartz. Des phosphates de terres rares, de même que du psilomélane (oxyde de Mn; **Figure 3D**) ont également été observés principalement dans les argiles.

Tableau 1 : Proportions semi-quantitatives des minéraux argileux de la mine d'Angovia

Localisation	N°	Description	Minéraux argileux				Autres	
			Smt	Kao	Mica	Ill/smt	Ab	Qz
Secteur Centre								
Parement SW	ANG1b	Argile blanchâtre	>95 %	<5%			•	••
Parement S	ANG2b	Argile ocre	85 %	15				••
Filon central	ANG7c	Argile violacée	>95 %	<5%	<5%			••
Secteur Sud	ANG9d	Argile jaunâtre	30 %	30 %	40%	Traces		••

Smt : smectite, Kao : kaolinite, Ill/smt : interstratifiés illite/smectite, Ab : albite, Qz : quartz,
 •: peu abondant,
 ••: très abondant.

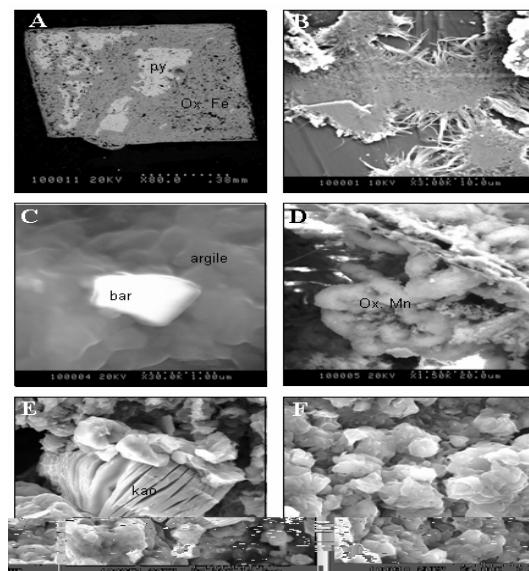


Figure 3 : Photomicrographies au microscope électronique à balayage (MEB) d'altérations associées à la minéralisation d'Angovia
A: corrosion d'une pyrite (py); **B:** oxy-hydroxydes de fer; **C:** cristal de barytine (bar); **D:** psilomélane (oxydes de Mn), **E:** feuillets de kaolinite (kao); **F:** feuillets de smectite

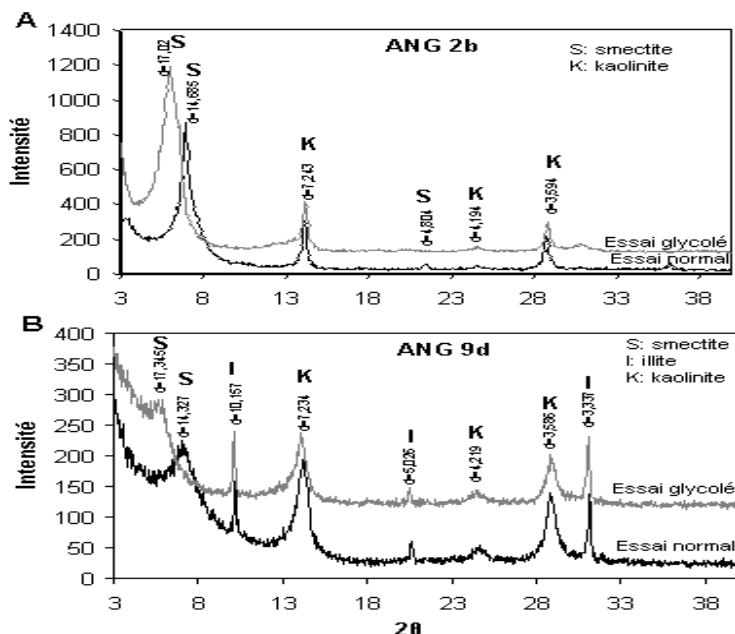


Figure 4 : Spectres de diffraction des rayons X (essais naturels et glycolés) de deux échantillons d'argiles d'Angovia : A=ANG 2b, B=ANG 9d

IV-2. Cristallochimie des minéraux altérations

IV-2-1. Chlorites

Soixante quinze analyses ont été faites sur des chlorites fissurales ou d'altération pervasive encaissées aussi bien dans la métadolérite que dans le dyke acide. Les formules structurales ont été calculées sur la base de 14 oxygènes (demi-formule). La technique d'analyse ne distingue pas le Fe divalent du Fe trivalent. Cependant, un grand nombre d'auteurs [29-31] a montré que Fe^{3+} constitue moins de 5 % du Fe total. Aussi, il nous est apparu convenable à première approximation de considérer tout le fer dans la formule comme Fe^{2+} .

Dans le diagramme de Foster [29], les chlorites ont des compositions chimiques qui se repartissent dans les domaines de la ripidolite et de la brunsvigite (*Figure 5A*). Cette figure indique une nette influence de l'encaissant sur la composition chimique des chlorites : d'une part, les rapports $\text{Fe}/(\text{Fe}+\text{Mg})$ sont nettement plus élevés dans les minéraux encaissés dans les métadolérites, et d'autre part, dans le dyke acide, les chlorites sont généralement plus riches en Si (prédominance de brunsvigites). Dans les

roches vertes, tous les chlorites issus de l'altération pervasive ont une composition de ripidolite, tandis que celles issues de l'altération fissurales ont des compositions plus étalées (ripidolite et brunsvigite). Ce phénomène est moins marqué dans le dyke acide.

Sur le diagramme Al (VI)- f[Al (IV)] (**Figure 5B**), la majorité des chlorites se localisent sur et à proximité de la droite $\text{Al(VI)} = \text{Al(IV)}$ qui représente les chlorites à vacance nulle. Les chlorites qui se localisent sur et à proximité de cette droite correspondent aux chlorites ayant cristallisé à plus haute température. On peut noter que les chlorites encaissées dans la métadolérite, appartiennent presqu'exclusivement à ce groupe. Les autres chlorites, essentiellement observées dans le dyke acide, s'écartent de la droite à vacance nulle en liaison avec la lacune octaédrique. Ce sont des chlorites de plus faibles températures [32, 33] et cet écart est d'autant plus important que la température de formation est basse.

L'application du géothermomètre "chlorite" [34], définit par la formule : $T (\text{°C}) = -61,92 + 321,98 (\text{Al [IV]})$, nous a permis d'estimer la température de cristallisation. Dans un diagramme Fe-T (**Figure 5C**), on note que ces deux variables sont positivement corrélées avec deux tendances parallèles, liées à la nature de l'encaissant. Les chlorites, dans l'encaissant métadoléritique, nettement plus riches en Fe, montrent des températures de cristallisation (300 à 415°C) en moyenne plus élevées que celles obtenues sur les chlorites cristallisées dans le dyke acide (200 à 400°C).

Dans les métadolérites, les températures obtenues pour les chlorites d'altération pervasive (326 à 400°C) sont plus resserrées que celles issues des chlorites fissurales (300 à 415°C). De telles températures obtenues sur des chlorites liées à l'épisode hydrothermal, sont conformes à celles généralement admises pour la mise en place de la minéralisation aurifère dans les formations birimienne [1,35,36].

IV-2-1. Micas

Les formules structurales ont été calculées sur la base de 11 oxygènes (demi-formule). Tout le Si a été affecté au feuillet tétraédrique et le nombre des atomes tétraédriques par formule a été porté à 4 avec Al ; le reste de Al étant assigné aux feuillets octaédriques tout comme Mg, Mn, Fe. Tout le « K, Na et Ca » a été assigné à l'espace interfoliaire. Les problèmes liés à la valence de Fe dans les micas K sont difficiles à régler sans l'utilisation de techniques telle que la spectroscopie Mösbauer. Cependant, le fait que Fe soit fortement corrélé à Mg dans un rapport similaire (1=1), pourrait indiquer une prédominance de Fe^{2+} dans la structure, dans le site octaédrique en substitution de Mg et Mn.

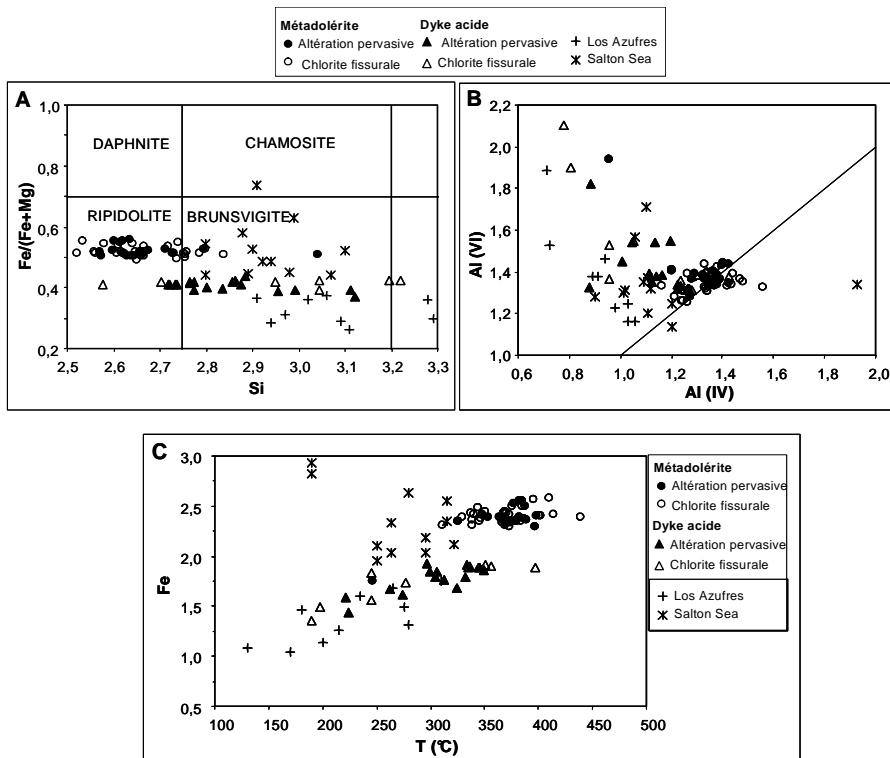


Figure 5 : Caractéristiques cristallo-chimiques des chlorites d'Angovia.
A : Diagramme de Foster [29]; **B :** diagramme $\text{Al}(\text{VI})$ - $\text{Al}(\text{IV})$; **C :** diagramme Fe - température de cristallisation. Les chlorites de Los Azufres et Salton Sea sont respectivement de Cathelineau [34] et McDowell et Elders [37]

Sur le diagramme $\text{Si} = f(\text{Cl}=\text{K}+\text{Na}+2\text{Ca})$ (**Figure 6**), l'ensemble de ces micas se localise dans le domaine des phengites à proximité du pôle muscovite (mica potassique). Ceci apparaît plus distinctement sur les diagrammes $\text{K}-\text{Ca}$ et $\text{K}-\text{Na}$ (**Figure 7**) qui indiquent une prépondérance du cation K^+ dans l'espace interfoliaire des micas. En effet, Ca et Na sont inférieurs respectivement à 0,02 et 0,12 (atome par demi-maille).

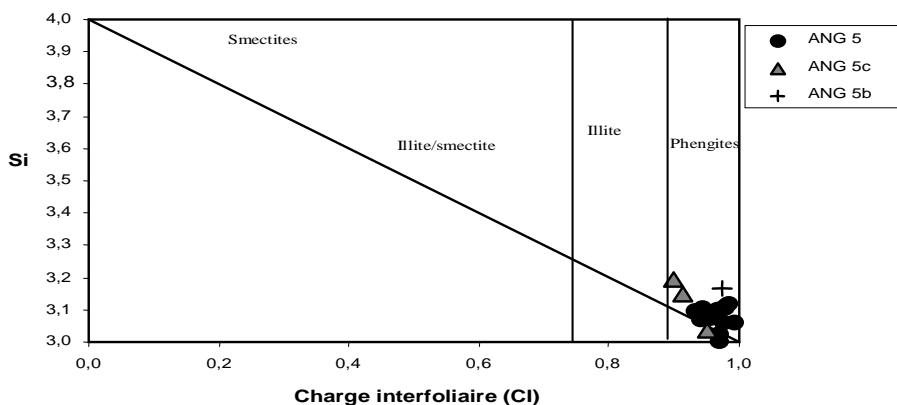


Figure 6 : Diagramme montrant la relation entre le silicium et la charge interfoliaire pour les micas analysés dans les échantillons d'Angovia

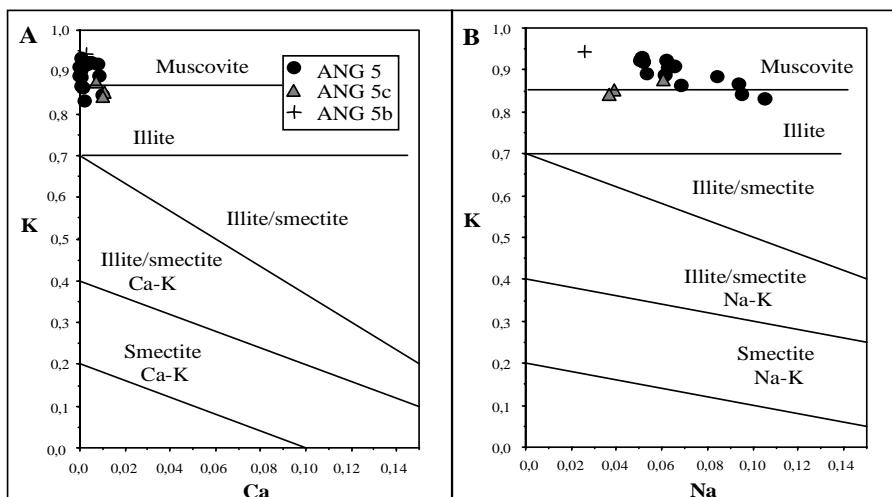


Figure 7 : Diagrammes permettant de décrire le chimisme de la compensation pour les phyllites analysées dans les échantillons d'Angovia. A : $K = f(Ca)$ et B : $K = f(Na)$

IV-2-1. Carbonates

Trente analyses de carbonates d'altération diffuse et fissurale dans la roche verte ont été réalisées à la microsonde. Les compositions des carbonates issus de l'altération diffuse ne diffèrent pas de celles issues de l'altération fissurale. On note que la carbonatation des plagioclases produit essentiellement de la dolomite (dans plus de 90 % des observations). Ceci est conforme au fait que

la roche encaissante (métadolérite) est très riche en minéraux ferromagnésiens dont l'altération libère du Mg, Fe et Mn. Les dolomites se caractérisent essentiellement par la substitution de Mg par Fe; les teneurs de Mn étant très faibles. Les calcites sont presqu'exclusivement fissurales et indiquent une faible substitution de Ca par Fe + Mn et Mg.

V - CONCLUSION

La minéralisation aurifère d'Angovia est encaissée dans des métadolérites. Cette minéralisation est lié à une intense altération hydrothermale à quartz, chlorite, carbonates, sulfures ± tourmaline. La minéralisation aurifère est localisée dans un couloir brèchique et mylonitique dont la puissance varie de 2 à 70 m et reconnu sur 1700 m de longueur. L'hydrothermalisme a provoqué une altération de la paragenèse primaire de l'encaissant. Les plagioclases sont affectés principalement par une dolomitisation et localement par une pseudomorphose en mica blanc (phengite) et albite ; la biotite et l'amphibole sont altérées en chlorite.

D'autre part, dans sa partie superficielle, le gisement est soumis à une intense altération météorique qui provoque une intense argilisation et une corrosion des sulfures. Les fractions argileuses sont constituées de smectite (phase prédominante), de kaolinite et parfois des micas plus ou moins interstratifiés illite/smectite. Les chlorites ont des compositions chimiques de ripidolite et de brunsvigite. L'estimation des températures de cristallisation des chlorites liés à l'épisode hydrothermal, par le géothermomètre "chlorite" a donné des valeurs comprises entre 300 et 415°C.

Remerciements

Nous tenons à exprimer notre sincère gratitude à Christian Girard et Pierre N'Guessan de la "Compagnie Minière d'Afrique" pour leur aide lors de l'échantillonnage à la mine et également les échanges sur la géologie d'Angovia. La partie analytique de ce travail a été possible grâce à la collaboration de Marie-Christine Boiron et Michel Cathelineau, de l'UMR G2R-CREGU de l'UHP Nancy I. Régine Mossé-Ruck est à remercier pour son aide dans les analyses DRX. Cette étude a été financièrement supportée par EGIDE (agence de coopération Française) et le CREGU (Nancy, France).

RÉFÉRENCES

- [1] - J. P. MILESI, J. L. FEYBESSE, P. LEDRU, A. DOMMANGET, M. F. OUEDRAOGO, E. MARCOUX, A. PROST, C. VINCHON, J. P. SYLVAIN, V. JOAN, M. TEGYEY, J. Y. CLAVEZ et P. LAGNY "Les minéralisations aurifères de l'Afrique de l'Ouest ; leurs relations avec l'évolution lithostructurale au protérozoïque inférieur". *Chron. Rech. Min.* 497 (1989) 3-98.
- [2] - M. BILLA, B. COSTE, A. CARQUET, J. PFLEAUM et P. URIEN. Projet or Yaouré (PRA N°36) Deuxième phase de prospection, septembre 1987, mars 1988. Côte d'Ivoire. *Rap. BRGM, Fr.* (1988), 88 CIV 075.
- [3] - C. GIRARD et S. S. TIA « Carte Géologique de Bouaké-Gagnoa à 1/500000 ». *Document CMA* (2000).
- [4] - N. R. JUNNER "Geology of the Gold Coast and Western Togoland". *Bull. Gold Coast Geol. Surv.* 11 (1940) 40 p.
- [5] - G. O. KESSE "The mineral and rock ressources of Ghana". *Ed. Balkema. Rotterdam* (1985) 610.
- [6] - B. TAGINI « Esquisse structurale de la Côte d'Ivoire ». Essai de géotectonique régionale. Thèse Université de Lausanne (1971) 302.
- [7] - W. HIRDES, A. LEUBE, R. MAUER and S. MOORBATH "The evolution of the Birimian supergroup in Ghana/west Africa". *14 th coll. Afr. Geol.*, 18-22 August 1987, Benin (1987) 48-49.
- [8] - A. LEUBE, W. HIRDES, R. MAUER, and G. O. KESSE "The early Proterozoic Birimian supergroup of Ghana and some aspects of it's associated gold mineralization". *Precamb. Res.*, 46 (1990) 139-165.
- [9] - W. HIRDES, D. W. DAVIS and B. N. EISENLOHR "Reassessment of Proterozoic granitoid ages in Ghana on the basis of U/Pb zircon and monazite dating". *Precamb. Res.*, 56 (1992) 89-96.
- [10] - P. N. TAYLOR, S. MOORBATH, A. LEUBE and W. HIRDES "Early proterozoic crustal evolution in the Birimian of Ghana : constraints from geochronology and isotope geochemistry". *Precamb. Res.*, 56 (1992) 97-111.
- [11] - W. ABOUCHAMI, M. BOHER, A. MICHARD and F. ALBARÈDE "A major 2.1 Ga event of mafic magmatism in West Africa : A early stage of crustal accretion". *J. Geophys. Res.*, 95(11) (1990) 17605-17629.
- [12] - M. BOHER, W. ABOUCHAMI, M. MICHARD, F. ALBARÈDE et N. T. ARNDT "Crustal Growth in West Africa at 2,1 Ga". *J. Geophys. Res.*, 97 (1992) 345-369.
- [13] - D. GASQUET, P. BARBEY, M. ADOU, J. L. PAQUETTE "Structure, Sr-Nd isotope geochemistry and zircon U-Pb geochronology of the granitoids of the Dabakala area (Côte d'Ivoire): evidence for a 2.3 Ga crustal growth event in the Palaeoproterozoic of West Africa?" *Precamb. Res.* 127 (2003) 329-354.

- [14] - J. L. FEYBESSE, J. P. MILESI, V. JOHAN, A. DOMMANGET, J.-Y. CALVEZ, M. BOHER et W. ABOUCHAMI « La limite Archéen-Protérozoïque inférieure d'Afrique de l'Ouest : une zone de chevauchement majeure antérieure à l'accident de Sassandra ; l'exemple des régions d'Odienné et de Touba (Côte d'Ivoire) ». *C. R. Acad. Sc. Paris*, t. 309, Série II (1989) 1847-1853.
- [15] - J. L. FEYBESSE, J. P. MILÉSI “The Archean/proterozoic contact zone in West Africa : a mountain belt of decollement thrusting and folding on a continental margin related to 2.1 Ga convergence of Archean cratons?” *Precamb. Res.* 69 (1994) 199-227.
- [16] - J.-L. FEYBESSE, M. BILLA, C. GUERROT, E. DUGUEY, J.-L. LESCUYER, J.-P. MILESI, V. BOUCHOT “The paleoproterozoic Ghanaian province : Geodynamic model and ore controls, including regional stress modeling”. *Precamb. Res.* 149 (2006) 149-196.
- [17] - J. PONS, P. BARBEY, D. DUPUIS et J. M. LÉGER “Mechanisms of pluton emplacement and structural evolution of a 2.1 Ga juvenile continental crust : the Birimian of southwestern Niger”. *Precamb. res.*, 70 (1995) 281-301.
- [18] - P. CHOUKROUNE, H. BOUHALLIER et N. T. ARNDT “Soft lithosphere during periods of Archean crustal growth or crustal reworking”. *Geol. Soc. Spec. Publ.*, 95 (1995) 67-85.
- [19] - M. VIDAL, C. DELOR, A. POUCLÉT, Y. SIMEON et G. ALRIC « Evolution géodynamique de l'Afrique de l'ouest entre 2,2 Ga et 2 Ga: le style "archéen" des ceintures vertes et des complexes sédimentaires birimiens du Nord-Est ». *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 167 (1996) 307-319.
- [20] - A. N. KOUAMELAN, C. DELOR, J. J. PEUCAT “Geochronological evidence for reworking of Archean terrains during the Early Proterozoic (2.1 Ga) in the western Côte d'Ivoire (Man Rise-West African Craton)”. *Precamb. Res.* 86 (1997) 177-199.
- [21] - R. FABRE, P. LEDRU et J. P. MILESI « Le Protérozoïque inférieur (Birimien) du centre de la Côte d'Ivoire, évolution tectonique et corrélations ». *C.R. Acad. Sci. Fr.*, Série II, 311 (1990) 971-976.
- [22] - R. FABRE et B. MOREL « Stratigraphie des unités birimiennes dans le centre de la Côte d'Ivoire (Afrique de l'Ouest) ». *Bull. Soc. Géol. Fr.*, t. 164, N°4 (1993) 609-621.
- [23] - S. LEMOINE « Evolution géologique de la région de Dabakala (NE de la Côte d'Ivoire) au Protérozoïque inférieur. Possibilités d'extension au reste de la Côte d'Ivoire et au Burkina Faso ». *Thèse ès Sci., Univ. Clermont-Ferrand* (1988) 388 p.
- [24] - V. JOHAN « Etude pétrographique d'échantillons venant du sondage d'Angovia (Côte d'Ivoire) ». *Rap. BRGM, Fr.* (1989) 89 GEO GSB 100.
- [25] - B. TOURLIÈRE et M. GENDRY « Projet or Angovia (PRA 36 Yaouré, Côte d'Ivoire). 3ème phase de prospection ». *Rap. BRGM, Fr.* (1989) 89 CIV 117.

- [26] - D. SOULE DE LAFONT « Le Précambrien moyen et supérieur de Bondoukou (Côte d'Ivoire) ». *Bull. Dir. féd. Mines Géol. A.O.F.*, 18, (1956) 163p 3 cartes.
- [27] - CMA Rapport d'activité de la mine d'Angovia. Document inédit (2001).
- [28] - T. HOLTZAPFFEL « Les minéraux argileux: préparation, analyse diffractométrique et détermination ». *Soc. Geol. Nord, France*, N°12 (1985) 136 p.
- [29] - M. D. FOSTER "Interpretation of the composition and a classification of the chlorites". *US. Geol. Surv. Prof. Pap.* 414A (1962) 27 p.
- [30] - W. A. DEER, R. A. HOWIE and J. ZUSSMAN "Rock forming minerals". 3. Sheet silicates, *Wiley, New York* (1962) 270 p.
- [31] - H. SHIROZU "Chlorite minerals, In : Developments in sedimentology". *Elsevier, Amsterdam Oxford New York*, Vol 26 (1978) 243-264.
- [32] - M. CATHELINÉAU « Les interactions entre fluides et roches : thermométrie et modélisation. Exemple d'un système géothermique actif (Los Azufres, Mexique) et altérations fossiles dans la chaîne Varisque ». *Doct. Etat INPL Nancy* (1987) 503 p.
- [33] - M. CATHELINÉAU and D. NIEVA "A chlorite solid solution geothermometer. The Los Azufres (Mexico) Geothermal system". *Contrib. Mineral. Petrol.*, 91 (1985) 235-244.
- [34] - M. CATHELINÉAU "Cations site occupancy in chlorites and illites as a fonction of temperature". *Clay Minerals*, 23 (1988) 471-485.
- [35] - Y. YAO, P. J MURPHY and L. J. ROBB "Fluid characteristics of granitoid hosted gold deposits in the birimian terrane of Ghana : A fluid inclusions microthermometric and Raman spectroscopic study". *Economic Geology* 96 (2001) 1611-1643.
- [36] - Y.COULIBALY, M. C. BOIRON, M. CATHELINÉAU, A. N. KOUAMELAN "Fluid immiscibility and gold deposition in the Birimian quartz veins of the Angovia deposit (Yaouré, Ivory Coast)". *Journal of African Earth Sciences*, 50 (2008) 234-258.
- [37] - S. D. McDOWELL and W. A. ELDERS "Autogenic layer silicate minerals In borehole Elmore 1, Salton Sea geothermal field, California, USA". *Contr. Mineral. Petrol.* V74 (1980) 293-310.